



PENINGKATAN EFEKTIFITAS PROSES KOAGULASI-FLOKULASI DENGAN MENGGUNAKAN ALUMINIUM SULFAT DAN POLYDADMAC

INCREASING THE EFFECTIVENESS OF COAGULATION-FLOCCULATION PROCESS USING ALUMINUM SULPHATE AND POLYDADMAC

Bernaded Oka Anggarani^{1,*}, Nieke Karnaningroem², Atiek Moesriati³

*1) Jurusan Teknik Lingkungan, FTSP, ITS
bernaded.oka@gmail.com*

*2) Jurusan Teknik Lingkungan, FTSP, ITS
nieke@enviro.its.ac.id*

*3) Jurusan Teknik Lingkungan, FTSP, ITS
atiek@enviro.its.ac.id*

ABSTRAK

Bahan kimia yang dibubuhkan pada proses koagulasi-flokulasi di IPAM Ngagel III adalah aluminium sulfat (alum) dan *polyacrylamide*. Dalam penelitian ini, *polyacrylamide* diganti dengan *polyDADMAC* diharapkan dapat meningkatkan efektifitas di dalam proses koagulasi-flokulasi dengan mengidentifikasi dosis optimum alum dan *polyDADMAC*, nilai *G* dan *td*, serta efisiensi *removal*. Penelitian ini menggunakan air baku buatan, yaitu air sungai Jagir ditambahkan lumpur intake PDAM Ngagel. Dosis optimum pada kekeruhan awal 30,4 NTU adalah 30 ppm alum dan 0,2 ppm *polyDADMAC*, sedangkan pada kekeruhan awal 50,2 NTU adalah 50 ppm alum dan 0,2 ppm *polyDADMAC*. *G* dan *td* yang optimum untuk proses koagulasi pada kekeruhan awal 30,4 NTU adalah 347/detik selama 120 detik, 172/detik selama 90 detik pada kekeruhan awal 50,2 NTU. Pada proses flokulasi, *G* dan *td* optimum pada kekeruhan awal 30,4 NTU dan 50,2 NTU masing-masing 61/detik selama 15 menit dan 61/detik selama 25 menit. Efisiensi *removal* untuk kekeruhan 30,4 NTU dan 50,2 NTU adalah 92,4% dan 95,1%.

Kata kunci: Dosis Optimum Alum dan PolyDADMAC, Efisiensi Removal, G, Kekeruhan, td

ABSTRACT

Chemicals are added in coagulation-flocculation process at IPAM Ngagel III are aluminum sulphate (alum) and polyacrylamide. In this research, polyacrylamide is replaced with polyDADMAC that is expected to increase the effectiveness in the coagulation-flocculation process by identify optimum dosage of alum and polyDADMAC, G and td value, and removal efficiency. This research used artificial raw water, Jagir River is added with sludge of intake PDAM Ngagel. Optimum dosage in the initial turbidity of 30,4 NTU is 30 ppm alum and 0,2 ppm polyDADMAC, whereas the optimum dosage in the initial turbidity of 50,2 is 50 ppm alum and 0,2 ppm polyDADMAC. Optimum G and td for coagulation process in the initial turbidity of



30,4 NTU are 347/seconds during 120 seconds, 172/seconds during 90 seconds for 50,2 NTU. In flocculation process, optimum G and td for each initial turbidity of 30,4 NTU and 50,2 NTU is 61/seconds during 15 minutes and 61/seconds during 25 minutes. Removal efficiency for 30,4 NTU and 50,2 NTU are 92,4% and 95,1%.

Keywords: *Optimum Dosage of Alum and PolyDADMAC, Removal Efficiency, G, Turbidity, td*

PENDAHULUAN

Pada IPAM Ngagel III bahan kimia yang dibubuhkan pada proses koagulasi dan flokulasi adalah aluminium sulfat dan *polyacrylamide*. Fungsi aluminium sulfat adalah menggabungkan partikel – partikel kecil menjadi lebih besar, yang disebut dengan flok, sedangkan *polyacrylamide* berfungsi untuk membuat flok yang telah terbentuk menjadi lebih besar lagi, sehingga lebih mudah untuk mengendap. Dalam penelitian ini *polyacrylamide* diganti dengan *polyDADMAC*. Penggantian *polyacrylamide* dengan *polyDADMAC* diharapkan dapat meningkatkan efektifitas di dalam proses pembubuhan bahan kimia pada proses koagulasi dan flokulasi agar dapat dihasilkan dosis yang optimum, sehingga menghasilkan nilai kekeruhan yang memenuhi standar kualitas air minum. Berdasarkan hal tersebut, maka dilakukan sebuah penelitian yang bertujuan untuk mengidentifikasi dosis optimum aluminium sulfat dan *polyDADMAC* untuk masing-masing kekeruhan, menganalisis gradien kecepatan (G) dan lama pengadukan (td) yang optimum untuk masing-masing kekeruhan, dan menghitung efisiensi *removal*.

Koagulasi – Flokulasi

Koagulasi merupakan proses pembubuhan bahan kimia (koagulan) dalam pengolahan air minum untuk memperbaiki kualitas air untuk aktivitas sehari – hari dikarenakan materi tersuspensi dan kontaminan yang secara efisien dapat tersisihkan. Di dalam proses koagulasi, dilakukan pengadukan cepat yang bertujuan untuk mendispersikan koagulan hingga rata dengan waktu yang singkat untuk memperkecil pecahnya flok menjadi partikel-partikel kecil tersuspensi.

Flokulasi adalah suatu proses penggumpalan partikel-partikel terdestabilisasi menjadi partikel-partikel berukuran besar, yang disebut dengan flok, sehingga mudah untuk mengendap. Gradien kecepatan merupakan faktor penting dalam proses ini. Jika nilai gradien kecepatan terlalu cepat atau besar akan mencegah pembentukan flok atau flok pecah kembali, akibatnya sulit mengendap.

Kriteria Desain Pengaduk Cepat dan Pengaduk Lambat

Gradien kecepatan (G) dan power (P) dapat ditentukan dengan cara sebagai berikut.

$$G = \sqrt{\frac{P}{\mu \cdot V}}$$

$$P = K_T \cdot n^3 \cdot D_i^5 \cdot \rho$$

Dimana : P = suplai tenaga ke air (N.m/detik)
 μ = viskositas absolut air (N.detik/m²)
V = volume air yang diaduk (m³)
 K_T = konstanta pengaduk untuk aliran turbulen
 ρ = massa jenis air (kg/m³)



n = kecepatan putaran (rps)
 Nilai K_T untuk jenis-jenis impeller dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai K_T untuk Jenis-Jenis Impeller

Jenis Impeller	K_T
Propeller, pitch of 1,3 blades	0,32
Propeller, pitch of 2,3 blades	1,00
Turbine, 4 flat blades, vaned disc	5,31
Turbine, 6 flat blades, vaned disc	5,75
Turbine, 6 curved blades	4,80
Fan turbine, 6 blades at 45°	1,65
Shroude turbine, 6 curved blades	1,08
Shrouded turbine, with stator, no baffles	1,12
Flat paddles, 2 blades (single paddle), $Di/Wi = 4$	2,25
Flat paddles, 2 blades, $Di/Wi = 6$	1,70
Flat paddles, 2 blades, $Di/Wi = 8$	1,15
Flat paddles, 4 blades, $Di/Wi = 6$	2,75
Flat paddles, 6 blades, $Di/Wi = 8$	3,82

Sumber : Reynold dan Richards dalam Masduqi, 2012

Kriteria desain bangunan pengaduk cepat dan pengaduk lambat dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2. Kriteria Desain Pengaduk Cepat

Pengaduk Cepat	Kriteria Desain
Gradien kecepatan (G) *)	250 - 1500 detik ⁻¹
Waktu detensi (td) **)	15 - 60 detik
G.td ***)	10 ⁴ - 10 ⁵

*Sumber : *) Ebeling, 2004*

***) Fair, 1971*

****) Hadi, 2012*

Tabel 3. Kriteria Desain Pengaduk Lambat

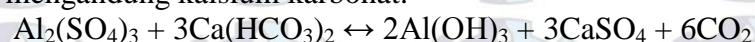
Kriteria	Nilai
Gradien Kecepatan (G) *)	20 - 80 detik ⁻¹
Waktu Detensi (td) **)	15 - 45 menit
G.td **)	10 ⁴ - 10 ⁵

*Sumber : *) Lee dan Lin, 2000*

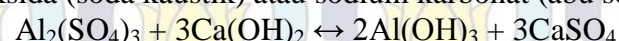
***) Droste, 1977*

Aluminium Sulfat

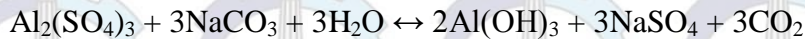
Aluminium sulfat atau alum merupakan koagulan yang paling sering digunakan dalam pengolahan air karena harga relatif murah, mudah untuk dioperasikan dan disimpan. Pembentukan flok aluminium hidroksida ($Al(OH)_3$) merupakan hasil reaksi antara koagulan yang bersifat asam dan alkalinitas alami yang terdapat dalam air yang biasanya mengandung kalsium karbonat.



Jika air tidak mempunyai alkalinitas yang cukup, maka ditambahkan *hydrated lime*, sodium hidroksida (soda kaustik) atau sodium karbonat (abu soda).



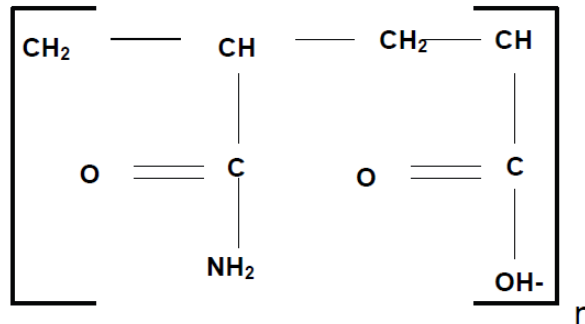
Jika ditambahkan abu soda, maka terjadi reaksi berikut.



Dari persamaan reaksi di atas, aluminium hidroksida ($\text{Al}(\text{OH})_3$) yang akan membentuk endapan. Ion H^+ yang terbentuk pada setiap reaksi akan menurunkan pH. Rentang nilai pH efektif untuk proses koagulasi adalah 5,5 – 8. Dikarenakan alum bersifat korosif, maka penyimpanan alum di dalam tanki harus diberikan lapisan (EPA, 2002).

Polyacrylamide

Polyacrylamide atau polimer *acrylamide* merupakan polimer yang larut dalam air. Polimer ini digunakan sebagai flokulan dalam pengolahan air minum. *Polyacrylamide* anion yang paling sering digunakan. Pada umumnya, polimer ini ditambahkan setelah bahan koagulan yang pertama, seperti tawas. *Polyacrylamide* digunakan untuk membuat flok lebih besar dan cepat mengendap karena mempunyai berat molekul yang tinggi (Ariffin, 2012). Dalam pengaplikasiannya dalam pengolahan air minum harus dikontrol karena *polyacrylamide* ini bersifat karsinogenik. Dosis maksimum yang digunakan adalah dibawah 1 mg/L. Gambar 1 merupakan struktur molekul dari *polyacrylamide*.

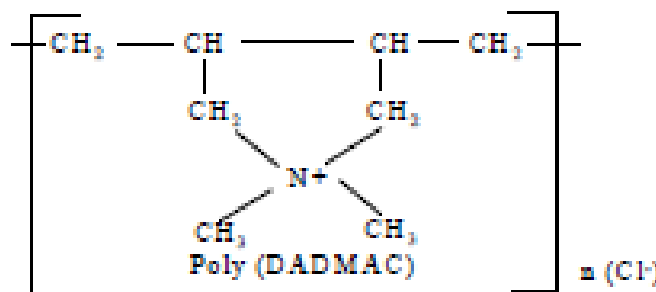


Gambar 1. Struktur Polyacrylamide

Sumber : Leopold, 2009

PolyDADMAC

Polydiallyldimethylammonium chloride atau *polyDADMAC* merupakan polielektrolit dengan jenis muatan positif (kation). *PolyDADMAC* mempunyai rumus molekul yang dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Struktur PolyDADMAC

Sumber : Leopold, 2009

PolyDADMAC merupakan polimer yang memiliki densitas muatan yang tinggi, maka dapat menggabungkan partikel tersuspensi menjadi efektif dalam proses flokulasi, menghilangkan warna, membunuh alga dan menghilangkan organik seperti



humus (Sang-kyu dan John dalam Mwangi, 2013). Keuntungan dari penggunaan polimer ini adalah mempunyai muatan positif yang besar dan *pH – insensitive* (Tripathy, 2006). *PolyDADMAC* juga beresiko pada kesehatan jika bereaksi dengan klorin memproduksi air dengan kandungan karsinogenik (Mwangi, 2013), maka dari itu dosis yang digunakan sangat rendah, yaitu kurang dari 1 mg/L (BARR, 2013).

METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode *jar test* dengan menggunakan air baku buatan. Berikut alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian.

a. Alat

1. *Jar test*
2. Beaker Glass volume 1000 mL sebanyak 6 buah
3. Pipet ukur 10 mL sebanyak 1 buah
4. Pipet ukur 5 mL sebanyak 1 buah
5. Propipet sebanyak 1 buah
6. Turbidimeter
7. pH meter

b. Bahan

1. Air sungai Jagir Surabaya
2. Lumpur intake PDAM Ngagel
3. Aluminium sulfat
4. *PolyDADMAC*
5. *Polyacrylamide*

Dalam penelitian ini dilakukan dalam dua tahap, yaitu penelitian pendahuluan dan penelitian utama. Penelitian pendahuluan dilakukan untuk memperoleh dosis optimum alum dan *polyDADMAC*, dimana tahap dimulai dari pembuatan air baku buatan, pembuatan larutan alum, *polyDADMAC*, dan *polyacrylamide*, serta penentuan dosis optimum alum dan *polyDADMAC*. Pembuatan air baku buatan dilakukan dengan mencampurkan lumpur intake PDAM Ngagel dengan sampel air baku sungai Jagir. Variasi kekeruhan adalah 30,4 NTU dan 50,2 NTU. Selanjutnya, adalah pembuatan larutan alum dengan konsentrasi 1% dan larutan *polyDADMAC* dan *polyacrylamide* dengan konsentrasi 0,01%. Kecepatan pengadukan yang digunakan dalam proses koagulasi dengan *jar test* adalah 100 rpm dengan td 60 detik, sedangkan yang digunakan pada proses flokulasi adalah 40 rpm selama 15 menit. Dosis alum yang digunakan divariasikan menjadi tiga, yaitu 20 ppm, 30 ppm, 40 ppm, 50 ppm, dan 60 ppm. Dosis *polyDADMAC* yang digunakan juga divariasikan menjadi tiga, yaitu 0,1 ppm, 0,2 ppm, 0,3 ppm, 0,4 ppm, dan 0,5 ppm.

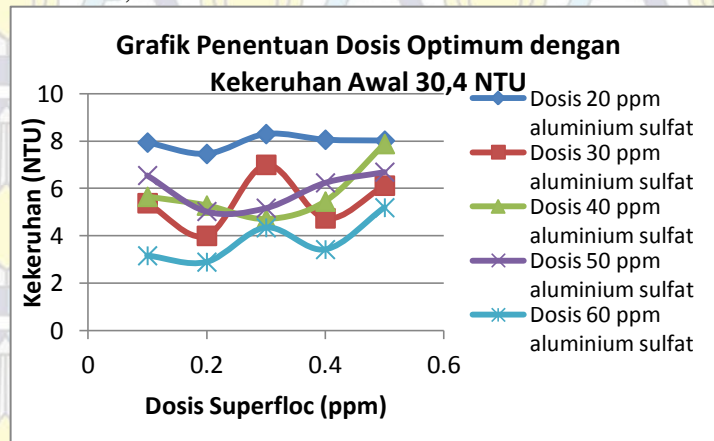
Tahap penelitian utama bertujuan untuk menentukan kecepatan pengadukan dan lama pengadukan yang optimum. Variasi kecepatan pengadukan pada proses koagulasi adalah 100 rpm (172/detik), 130 rpm (254/detik), dan 160 rpm (347/detik) dan variasi lama pengadukan adalah 60 detik, 90 detik, dan 120 detik. Dalam proses flokulasi digunakan variasi kecepatan pengadukan 30 rpm (28/detik), 40 rpm (43/detik), dan 50 rpm (61/detik) dan variasi lama pengadukan adalah 15 menit, 20 menit, 25 menit.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dosis Optimum



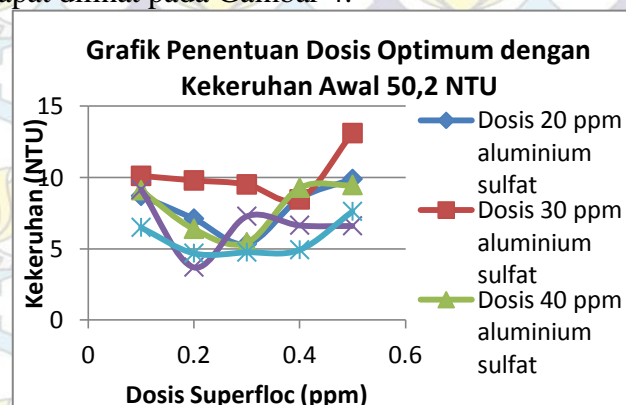
Dosis optimum yang digunakan pada kekeruhan awal 30,4 NTU adalah dosis yang menghasilkan kekeruhan terendah. Gambar 3. merupakan hasil dosis optimum untuk kekeruhan awal 30,4 NTU.



Gambar 3. Grafik Penentuan Dosis Optimum dengan Kekeruhan Awal 30,4 NTU

Berdasarkan Gambar 3, terjadi kenaikan nilai kekeruhan secara signifikan pada dosis 30 ppm alum dan 0,3 ppm *polyDADMAC*. Hal tersebut disebabkan ukuran partikel di dalam air sangat kecil dan partikel – partikel koloid yang bergerak acak, sehingga terjadi gerak Brown. Selain itu, terjadi tolak menolak antara flok lebih besar dibandingkan dengan gaya gravitasi yang dapat membuat flok-flok mengendap (Engelhardt, 2014). Gambar 3 menunjukkan bahwa dosis optimum yang seharusnya digunakan adalah 60 ppm aluminium sulfat dan 0,2 ppm *polyDADMAC* karena menghasilkan nilai kekeruhan terendah. Namun, yang digunakan sebagai dosis optimum pada nilai kekeruhan awal 30,4 NTU adalah 30 ppm aluminium sulfat dan 0,2 ppm *polyDADMAC*. Hal tersebut dikarenakan penambahan aluminium sulfat berlebih dapat menurunkan pH. Alum menghasilkan $\text{Al}(\text{OH})_3$ yang berbentuk endapan yang tidak dapat larut dan dapat melewati proses filtrasi yang kemudian berakhir di reservoir atau sistem distribusi (Leopold, 2009). Selain itu, aluminium merupakan salah satu jenis logam bersifat toksik dan korosif. Jika konsentrasi aluminium dalam air tinggi dan terakumulasi dalam tubuh akan menyebabkan penyakit Alzheimer (Hunter Water, 2011).

Berikutnya adalah penentuan dosis optimum untuk kekeruhan awal 50,2 NTU. Hasil penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.



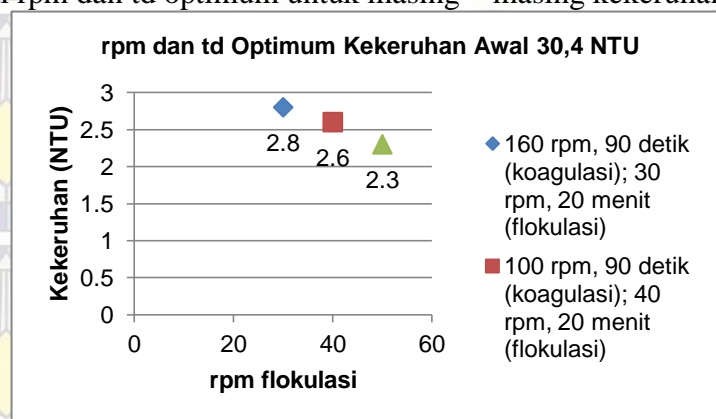
Gambar 4. Grafik Penentuan Dosis Optimum dengan Kekeruhan Awal 50,2 NTU



Dosis optimum yang digunakan pada kekeruhan awal 50,2 NTU berdasarkan Gambar 4 adalah 50 ppm aluminium sulfat dan 0,2 ppm *polyDADMAC* yang ditunjukkan pada grafik berwarna ungu. Hal tersebut disebabkan dosis tersebut merupakan dosis yang menghasilkan nilai kekeruhan akhir terendah, yaitu sebesar 3,7 NTU.

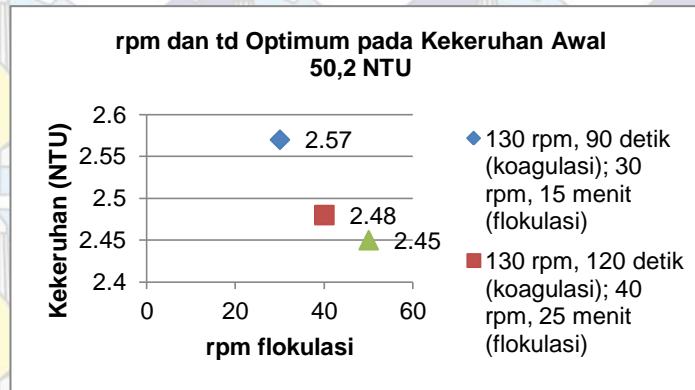
Nilai G dan td

Dalam menentukan nilai G dan td dilakukan percobaan dengan memvariasikan nilai rpm dan td pada proses koagulasi dan flokulasi, yaitu 100 rpm dengan td 60 detik, 90 detik, 120 detik dengan flokulasi 30 rpm selama 15 menit. Begitu pula dengan 130 rpm dan 160 rpm yang divariasikan dengan td 60 detik, 90 detik, 120 detik untuk flokulasi yang sama, 30 rpm selama 15 menit, sehingga diperoleh nilai kekeruhan terendah untuk 30 rpm selama 15 menit, dimana bukan berarti hasil yang optimum disebabkan masih dilakukan perbandingan jika flokulasi 30 rpm selama 20 menit dan 25 menit, 40 rpm selama 15 menit, 20 menit, dan 25 menit, 50 rpm untuk 15 menit, 20 menit, dan 25 menit. Setelah itu diperoleh nilai G dan td optimum untuk proses koagulasi dan flokulasi dalam skala laboratorium. Gambar-gambar berikut merupakan hasil untuk nilai rpm dan td optimum untuk masing – masing kekeruhan awal.



Gambar 5. Hasil rpm dan td Optimum Koagulasi dan Flokulasi pada Kekeruhan Awal 30,4 NTU

Semakin lama pengadukan pada koagulasi, maka bahan kimia yang dibubuhkan akan terdispersi secara merata ke dalam air dan jika kecepatan semakin cepat, maka tumbukan antar partikel semakin besar, dan akibatnya flok-flok yang dihasilkan semakin banyak, sehingga mudah mengendap dan menghasilkan kekeruhan akhir yang rendah seperti pada Gambar 5, dimana kekeruhan akhir terendah adalah 2,30 NTU dengan perlakuan 160 rpm selama 120 detik untuk koagulasi dan untuk flokulasi dilakukan dengan 50 rpm selama 15 menit.



Gambar 6. Hasil rpm dan td Optimum Koagulasi dan Flokulasi pada Kekeruhan Awal 50,2 NTU

Pada kekeruhan 30,4 NTU dan 40,5 NTU, proses koagulasi membutuhkan kecepatan pengadukan yang cepat. Beda halnya dengan kekeruhan 50,2 NTU yang ditunjukkan pada Gambar 6, bahwa kekeruhan akhir terendah, yaitu 2,45 NTU, dilakukan dengan kecepatan 100 rpm karena jarak antar partikel koloid berdekatan dan bahan kimia yang dibubuhkan telah tercampur rata, sehingga dihasilkan tumbukan antar partikel koloid yang banyak, sehingga terbentuk flok-flok yang mudah mengendap yang didukung dengan td flokulasi yang lama (25 menit), dimana pada td panjang memberikan kesempatan untuk flok-flok bertumbuh.

Penelitian selanjutnya adalah melakukan pengecekan terhadap *polyacrylamide*. Pengecekan dilakukan untuk mengetahui apakah *polyDADMAC* dapat menggantikan *polyacrylamide* sebagai flokulan yang efektif. Penelitian pengecekan menggunakan variasi kekeruhan yang sama, yaitu 30,4 NTU dan 50,2 NTU. Dosis yang dibubuhkan adalah dosis optimum yang didapatkan dari penentuan dosis optimum alum dan *polyDADMAC* untuk masing – masing kekeruhan, yaitu 30 ppm alum dan 0,2 ppm *polyDADMAC* untuk kekeruhan 30,4 NTU dan 50 ppm alum dan 0,2 ppm *polyDADMAC* untuk kekeruhan 50,2 NTU. G dan td yang digunakan adalah G dan td optimum. Tabel 4 berikut merupakan hasil pengecekan dengan menggunakan *polyacrylamide*.

Tabel 4. Hasil Pengecekan dengan Menggunakan *Polyacrylamide*

Bahan Kimia	Kekeruhan Akhir (NTU)	pH
Kekeruhan Awal 30,4 NTU		
alum + <i>polyDADMAC</i>	2.30	7.24
alum + <i>polyacrylamide</i>	4.88	7.51
Kekeruhan Awal 50,2 NTU		
alum + <i>polyDADMAC</i>	2.45	7.13
alum + <i>polyacrylamide</i>	2.02	7.24

Tabel 4 menunjukkan bahwa untuk kekeruhan awal 30,4 NTU dengan menggunakan kombinasi alum dan *polyacrylamide* menghasilkan kekeruhan sebesar 4,88 NTU dengan efisiensi *removal* 83,9%, sedangkan kombinasi alum dan *polyDADMAC* menghasilkan kekeruhan sebesar 2,30 NTU. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa kombinasi alum dan *polyDADMAC* mempunyai efisiensi *removal*



yang tinggi, sebesar 92,4%. Hal tersebut disebabkan *polyDADMAC* merupakan jenis polimer kationik (bermuatan positif) yang mempunyai kecenderungan lebih besar untuk mengadsorpsi muatan negatif (Yu, 2010) pada partikel – partikel di dalam air. *Polyacrylamide* memiliki berat molekul yang besar dan berfungsi sebagai jembatan diantara flok yang telah terbentuk (Ariffin, 2011) dan membuat ukuran flok menjadi lebih besar. Pada kekeruhan awal 50,2 NTU, kombinasi menggunakan *polyacrylamide* memiliki efisiensi *removal* sebesar 96%, sedangkan efisiensi *removal* kombinasi dengan *polyDADMAC* sebesar 95,1%. Hal tersebut dikarenakan kekeruhan 50,2 NTU merupakan kekeruhan yang tinggi, dimana Hammer (1977) menyatakan bahwa semakin tinggi kekeruhan air, maka koagulan yang dibutuhkan semakin sedikit. Hal ini dikarenakan jarak antar partikelnya berdekatan, sehingga tumbukan yang terjadi lebih besar.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh berdasarkan hasil penelitian, antara lain:

1. Dosis optimum untuk kekeruhan awal 30,4 NTU adalah 30 ppm aluminium sulfat dan 0,2 ppm *polyDADMAC*, sedangkan untuk kekeruhan awal 50,2 NTU dosis optimum yang digunakan adalah 50 ppm aluminium sulfat dan 0,2 ppm *polyDADMAC*.
2. Gradien kecepatan (G) dan lama pengadukan (td) yang efektif untuk proses koagulasi dan flokulasi pada kekeruhan awal 30,5 NTU adalah 347/detik selama 120 detik dan 61/detik selama 15 menit. Pada kekeruhan awal 50,2 NTU, gradien kecepatan dan lama pengadukan pada proses koagulasi adalah 172/detik selama 90 detik dan G dan td yang efektif pada proses flokulasi adalah 61/detik selama 25 menit.
3. Efisiensi *removal* dengan kekeruhan 30,4 NTU adalah 92,4% dan kekeruhan 50,2 NTU efisiensi *removal* sebesar 95,1%.

Saran

Beberapa saran dari penulis, yaitu:

1. Dilakukan penelitian lebih lanjut untuk jenis polielektrolit lain dengan efisiensi *removal* yang tinggi.
2. Dilakukan penelitian lebih lanjut untuk beberapa variasi gradien kecepatan (G) dan lama pengadukan (td) dengan rentang nilai yang kecil.

DAFTAR PUSTAKA

- Ariffin, A., M.A.A. Razali, Z. Ahmad. 2011. *PolyDADMAC and Polyacrylamide as a Hybrid Flocculation System in the Treatment of Pulp and Paper Mills Waste water*. Chemical Engineering Journal 179, 107-111.
- BARR. 2013. *Environmental Impacts of Water Treatment Chemicals at Industrial Sand Mines*. Barr White Paper : Barr Engineering Co.
- Droste, R.L. 1997. *Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment*. New York : John Wiley and Sons, Inc.



- Ebeling, James M. dan Sarah R. Ogden. 2004. *Application of Chemical Coagulation Aids for the Removal of Suspended Solids (TSS) and Phosphorus from the Microscreen Effluent Discharge of an Intensive Recirculating Aquaculture System*. North American Journal of Aquaculture 66, 198 – 207.
- Environmental Protection Agency. 2002. *Water Treatment Manuals. Coagulation, Flocculation, and Clarification*. Ireland : Johnstown Castle Estate, Co.
- Fair, Geyer, dan Okun. 1971. *Water and Wastewater Engineering, Vol II*. John Wiley and Sons, Inc.
- Hadi, Wahyono. 2012. *Perencanaan Bangunan Pengolahan Air Minum*. Surabaya : ITS Press.
- Hammer, Mark J. 1977. *Water and Wastewater Techonology*. SI Version. Toronto : John Wiley an Sons, Inc.
- Leopold, Peter dan Sue D. Freese. 2009. *A Simple Guide to the Cemistry, Selection and Use of Chemicals for Water and Wastewater Treatment*. South Africa : Water Research Commission.
- Masduqi, Ali dan Abdu F. Assomadi. 2012. *Operasi dan Proses Pengolahan Air*. Surabaya : ITS press.
- Mwangi, Isaac W., J. Catherine Ngila, Patrick Ndungu, Titus A.M. Msagati. 2013. *Method Development for the Determination of Diallyldimethylammonium Chloride at Trace Levels by Epoxidation Process*. Water Air Soil Pollutant, 224 : 1638.
- Nozaic, D.J., S.D. Freese, P. Thompson. 2000. An Evaluation of The Long Term Use of Polymeric Coagulants at Umgeniwater. Water Institute of Southern African Biannual Conference (WISA), 1-10.
- Rambe, Ahmad Mulia. 2009. *Pemanfaatan Biji Kelor (Moringa Oleifera) sebagai Koagulan Alternatif dalam Proses Penjernihan Limbah Cair Industri Tekstil*. Medan : Universitas Sumatera Utara.
- Reynolds, T.D., dan Richards, P.A. 1996. *Unit Operations and Processes in Environmental Engineering*. Boston : PWS Publishing Company.
- Tripathy, Tridib dan Bhudeb Ranjan De. 2006. Flocculation : A New Way to Treat the Waste Water. Journal of Physics Sciences 10, 93 – 127.
- Yu, Wenzheng, John Gregory, Luija C. Compos. 2010. *Breakage and Re-Growth of Flocs Formed by Charge Neutralization Using Alum and polyDADMAC*. Water Research 44, 3959-3965.